

กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก

A Prototype of a Dog Skull Made from Plastic

บรรณารักษ์ แก้วจรรณู^{1*} และ ชัยสิทธิ์ แก้วจรรณู²

Bunnaruk Kaewcharoon^{1*} and Chaiyasit Kaewcharoon²

¹ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

² สาขาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

¹ Animal Health Science Program, Faculty of Veterinary Science, Rajamangala University of Technology Tawan-ok

² Agricultural Engineering and Technology Program, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

*E-mail: bunnaruk_ka@rmutto.ac.th Tel. 081-4466892

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ โดยการนำอวัยวะของจริงมาสร้างภาพจำลอง 3 มิติ (3D simulation) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการประมวลผลภาพ เพื่อส่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) สร้างชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะเหมือนจริง ในงานวิจัยนี้ใช้แบบตัวอย่างจริง 4 ตัวอย่าง และสร้างได้ 8 ชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัข, ขากรรไกรล่าง, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย การดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอน เริ่มจากการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ โดยใช้กล้องถ่ายภาพปรับระดับความสูง 2 ระดับ ถ่ายภาพให้หมุนรอบชิ้นงานทุก 10 องศา กดบันทึกภาพได้ประมาณ 36 ภาพ ขั้นตอนที่ 2 นำภาพ 1 ชิ้นงานทั้งหมดใน 1 โฟลเดอร์นำไปวิเคราะห์ภาพถ่ายในโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0 เพื่อให้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากนั้นในขั้นตอนที่ 3 ใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ ปรับปรุงขนาดและปรับแต่งรูปร่างให้ใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด ผลการวิเคราะห์ขนาดเทียบเคียงกับของจริงนั้นเทียบเท่ากัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำไฟล์นามสกุล .OBJ มาแปลงเป็นไฟล์นามสกุล STL และไฟล์นามสกุล GCODE โดยใช้โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 แล้วดำเนินการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Ender 3 v2 ด้วยพลาสติก PLA สีเนื้อและสีขาว ผลการวิจัยการสร้างชิ้นงานกะโหลกสุนัขแต่ละชิ้นงาน โดยการใช้โปรแกรม Meshroom 2021, โปรแกรม Meshmixer, โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 และเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Ender 3 v2 ได้ชิ้นงานจากพลาสติก PLA สีเนื้อ 4 ชิ้นงานและสีขาว 4 ชิ้นงาน ใช้เวลาในการพิมพ์และน้ำหนักรวมนั้น กะโหลกสุนัขใช้เวลาในการพิมพ์ 23 ชั่วโมง 51 นาที น้ำหนักรวม 233 กรัม ขากรรไกรล่าง ใช้เวลาในการพิมพ์ 7 ชั่วโมง 43 นาที น้ำหนักรวม 55 กรัม กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา ใช้เวลาในการพิมพ์ 17 ชั่วโมง 59 นาที น้ำหนักรวม 123 กรัม และกะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย ใช้เวลาในการพิมพ์ 17 ชั่วโมง 3 นาที น้ำหนักรวม 120 กรัม ซึ่งระยะเวลาการพิมพ์แต่ละโมเดลดังกล่าวคือเวลาเฉลี่ยต่อ 1 ชิ้นงาน สรุปผลการวิจัย พบว่าไฟล์แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติทั้ง 8 ชิ้น มีความเหมือนจริงในด้านโครงสร้างและรูปร่างลักษณะภายนอก แต่มีรายละเอียดของชิ้นงานที่ไม่สามารถทำได้ เช่น รอยร้าวของหัวกะโหลก, โครงสร้างภายในโพรงจมูก, องค์ประกอบภายในแอ่งของกะโหลกศีรษะ และรูต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวของกะโหลกศีรษะ เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในกระบวนการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในด้านผลลัพธ์วิจัยเชิงปริมาณทั้ง 4 ชิ้นงาน จะใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา

คำสำคัญ : กะโหลกสุนัข, อวัยวะสัตว์, แบบจำลอง 3 มิติ, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Abstract

This research aimed to develop anatomy teaching media by using real animal organs to create 3D simulation images using ready-made image processing programs to order a 3D printer (3D Printer) to create plastic animal organs with realistic shapes. In this research, 4 real samples were used, and 8 pieces were created, including a dog skull, lower jaw, right-halved dog skull, left-halved dog skull. The research process had 4 steps; first step, starting with taking photos and collecting data on the prototype pieces, using a camera that adjusted to 2-level height, taking photos rotating around the workpiece every 10 degrees, obtained approximately 36 images. Step 2, Taking 1 image of all workpieces in 1 folder to be analyzed in the Meshroom Version 2021.1.0 program to create a 3D model. Step 3, Meshmixer program was applied to adjust the 3D model for improving the size and adjusting the shape to be as close to the real thing as possible. The final step is to convert the .OBJ file extension to an STL file extension and a GCODE file extension using the Creality Slicer V.4.8 program and then print it by using an Ender 3 v2 3D printer with beige and white-colored PLA plastic. Research results: Eight dog skull prototypes (4 beige color and 4 white color) were created using the Meshroom 2021 program, the Meshmixer program, the Creality Slicer V.4.8 program, and the Ender 3 v2 3D printer. The printing time and total weight were as follows. Each dog skull took 23 hours 51 minutes in printing, total weight 233 grams. A lower jaw took 7 hours 43 minutes in printing, total weight 55 grams. A dog skull cut in right half took 17 hours and 59 minutes in printing, total weight 123 grams, and the left half took 17 hours and 3 minutes in printing, total weight 120 grams. In conclusion, it was found that the 3D model files created from 3D printers were realistic in terms of structure and appearance. But there were some details of the workpiece that cannot be made, such as skull cracks, structures within the nasal cavity, elements within the skull fossa, and various holes on the surface of the skull, because the limitations of using ready-made programs in the 3D modeling process. In terms of quantitative research results, all 4 pieces will be used as quality anatomy teaching materials. It is strong, durable, lightweight, and convenient to move and store.

Keywords : dog skull, animal organs, 3D model, 3D printer

1. บทนำ

การเรียนการสอนกายวิภาคศาสตร์ทางสัตวแพทย์มีความจำเป็นที่ต้องใช้อวัยวะจริงของสัตว์แต่ละชนิดเพื่อศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญ โดยวิธีแบบดั้งเดิมการเก็บรักษาทัวอย่างสัตว์มักใช้วิธีการดองด้วยน้ำยาฟอร์มาลิน และอาจมีอันตรายต่อผู้ใช้งาน ส่วนซากหรือตัวอย่างสัตว์ชนิดอื่นอาจจะผ่านขั้นตอนทางกายวิภาคต่าง ๆ เพื่อให้รักษาสภาพไว้ได้นานขึ้น ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การสตัฟฟ์สัตว์ การดองใส การต้มเพื่อต่อโครงกระดูกสัตว์ทั้งตัว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนที่เป็นหุ่นจำลอง โดยทำจากวัสดุต่าง ๆ เช่น เรซิน ซิลิโคน และยางพารา (Suprasert et al., 2015) ซึ่งเป็นวัสดุที่ผลิตได้ในประเทศไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้นหาวิธีในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพื่อทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงหรืออวัยวะจริงจากสัตว์ โดยงานวิจัยนี้ได้นำอวัยวะสัตว์ของจริงมาสร้างเป็นภาพจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D simulation) แล้วประมวลผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) สร้างเป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ที่เสมือนจริง อวัยวะสัตว์จำลองที่ได้สามารถจับต้องได้ และช่วยลดการสัมผัสจากสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพตัวอย่างแบบดั้งเดิม ซึ่งโครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. พัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่ทำจากพลาสติกต้นแบบ
2. ทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงจากสัตว์ และลดการสัมผัสสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสมัยใหม่มาคิดวิเคราะห์และเริ่มต้นสร้างสรรค์นวัตกรรมขั้นใหม่ จะเป็นการพัฒนา นวัตกรรมให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (Office of Knowledge Management and Development, 2021) โดยแนวโน้มทางเทคโนโลยีการศึกษาสำคัญที่มีอิทธิพลในปี พ.ศ. 2563 (Fanchian, 2020) มีการนำเทคโนโลยี Augmented Reality (AR) มาผสมผสานระหว่างมุมมองโลกแห่งความเป็นจริงเข้ากับวัตถุเสมือนจริง ผ่านเครื่องมือสื่อสารต่าง ๆ ทำให้เกิดประสบการณ์การเรียนรู้ที่แปลกใหม่ ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนรู้สึกอยากเรียนรู้ และสามารถเข้าใจหัวข้อต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง (AR) (Puangpaka and Wongbunmak, 2017) ได้นำไปใช้ทางด้านการแพทย์ ทำให้เพิ่มความสมจริงในการรักษาและให้นักศึกษาแพทย์ได้ใช้เครื่องมือแพทย์ ในการรักษาหรือผ่าตัดผู้ป่วยแบบไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วยจริง ทำให้การผ่าตัดของนักศึกษาแพทย์มีความกล้าและได้ศึกษา ขั้นตอนการผ่าเหมือนได้ทำการผ่าตัดจริง ซึ่งการสร้างวัตถุเสมือนจริงหรือการสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ มีวิธีการสร้างภาพ โดยใช้เครื่องสแกน 3 มิติหลายรูปแบบ เพื่อแปลงข้อมูลทางดิจิทัลให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติหรือนำไปใช้ กับเทคโนโลยี AR ได้ สำหรับงานด้านการแพทย์จะมีการใช้เครื่อง CT Scan และเครื่อง MRI Scan เป็นเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติชนิดหนึ่ง (Neotech, 2021) ภาพถ่ายที่ได้จากการสแกนจาก MRI Scan หรือ CT Scan สามารถนำภาพร่างกาย มนุษย์ในลักษณะการหั่นเป็นแผ่นบาง (Slice Section) มาต่อกันเพื่อสร้างภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยภาพจากเครื่อง สแกนจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ DICOM หรือ ไฟล์นามสกุล .dcm โดยไฟล์ DICOM เป็นไฟล์ทางการแพทย์ ที่ได้จากระบบ จัดเก็บรูปภาพทางการแพทย์ผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐาน DICOM

การสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (Neotech, 2021) เรียกว่า โฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) เป็นการถ่ายภาพจากสถานที่จริงหรือวัตถุจริงจากมุมมองต่าง ๆ มาจัดเรียงเป็นลำดับของภาพ โดยรอบของวัตถุ จากนั้นนำภาพทั้งหมดที่ได้มาแปลงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลของขนาด ตำแหน่ง พิกัด และอนุกรมรูปทรงของวัตถุ ในรูปแบบของกลุ่มจุด เรียกว่า พอยต์คลาวด์ (Point Cloud) เป็นข้อมูลเชิงเรขาคณิต ที่มีการระบุตำแหน่งของจุดในพิกัดแกน X, Y, Z ในรูปแบบ 3 มิติ เมื่อนำพอยต์คลาวด์มาลากเส้นเชื่อมต่อกันอย่างน้อย 3 จุด สร้างเป็นเส้นขอบและพื้นผิวตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุแสดงผลเป็นรูปร่าง 3 มิติ เรียกว่า เมชโมเดล (Mesh Model) มีนามสกุลของไฟล์ที่นิยมคือ .STL, .OBJ สามารถใส่สีเพิ่มเติมในรายละเอียดของพื้นผิวได้ โดยใช้ไฟล์รูปภาพ นามสกุลของไฟล์คือ .JPG, .PNG, .BMP มาจับคู่กับไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) ออกมา เป็นแบบจำลอง 3 มิติที่มีส่วนประกอบสีที่ผิวสัมผัสได้ เรียกว่า ผิวสัมผัสของตาข่าย (Texture Mesh)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในการพัฒนาระบบ สแกนวัตถุเพื่อการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงสำหรับพื้นผิวแบบระนาบและไม่ระนาบ (Thiengchanya, 2020) โดยใช้วิธีการถ่ายภาพจากวัตถุจริงหลายมุมมองด้วยกล้องดิจิทัล DSLR เพื่อเก็บภาพความละเอียดสูงโดยมีขั้นตอน การปรับสีของภาพวัตถุให้ตรงกับสีจริงของวัตถุด้วยวิธีการสอบเทียบสี (Color Calibration) จากแผ่นภูมิทดสอบสี 24 สี (Color Checker) โดยขั้นตอนการถ่ายภาพวัตถุจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งใช้กล้องสตูดิโอที่มีการติดตั้ง แลบลอดไฟแอลอีดีสีขาวในการถ่ายภาพวัตถุแบบ 360 องศาเพื่อนำไปประมวลผลภาพด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติและภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุ ส่วนที่สองใช้เครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ สำหรับสแกนพื้นผิวในการถ่ายภาพวัตถุในมุมมองเดียวกันแต่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ 8 ดวงในทิศทาง ที่แตกต่างกัน เพื่อนำภาพไปประมวลผลภาพด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric Stereo) สำหรับสร้างภาพ แผนที่สีพื้น ภาพแผนที่แนวฉาก และภาพแผนที่ความสูง สุดท้ายนำภาพแผนที่ต่าง ๆ ไปใส่ให้แก่แบบจำลอง 3 มิติ แล้วทำการเรนเดอร์ภาพแบบจำลอง 3 มิติ ส่งผลให้แบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นมีความนูนสูงหรือนูนต่ำ รอยขรุขระ ร่องลึก ลวดลายต่าง ๆ และสีพื้นผิวที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวมีความสอดคล้องกับวัตถุจริง

จากเอกสารที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย โดยเลือกวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบใช้งานฟรีในการวิเคราะห์ภาพถ่าย การปรับปรุงขนาดและปรับแต่งรูปร่างให้เป็นไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) แล้วนำมาทำการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ สร้างเป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกให้มีรูปร่างลักษณะที่เสมือนจริง ซึ่งกะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติกจะเป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา

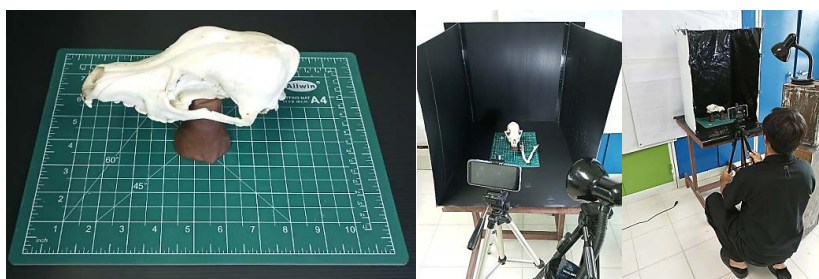
2. วิธีการศึกษา

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เป็นชิ้นงานอวัยวะสัตว์พลาสติกที่มีรูปร่างลักษณะเสมือนจริง โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้ หัวกะโหลกของสุนัข 3 ตัวอย่าง (เดิมกำหนดเป้าหมาย 3 ชิ้นงานตามสัญญาทุนวิจัย) แต่ผู้วิจัยปรับเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานเป็น 4 ตัวอย่าง 8 ชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัขเต็ม, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย และขากรรไกรล่าง โดยใช้พลาสติก PLA สีขาวและสีเนื้อ, ขาตั้งกล้องโทรศัพท์มือถือ, โคมไฟ, แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำ, โทรศัพท์มือถือที่มิกกล้องถ่ายภาพ, คอมพิวเตอร์ Intel Core i7 RAM 8 GB มีการ์ดจอของ Nvidia กราฟิกแบบ CUDA ≥ 3.0 , โปรแกรมแปลงภาพถ่ายเป็นภาพ 3 มิติ Meshroom 2021.1.0, โปรแกรมตัดต่อภาพแบบ 3 มิติ Autodesk Meshmixer Ver. 3.5.474, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Ender 3 v2 และ เส้นพลาสติก PLA สีขาว, สีเนื้อ และอุปกรณ์ประกอบอื่น

2.2 ขั้นตอนการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ

เตรียมนำอวัยวะสัตว์เฉพาะส่วนหัวกะโหลกของสุนัขมาเป็นต้นแบบ จัดสถานที่ถ่ายภาพโดยวางโต๊ะขนาดเล็ก ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำเป็นฉาก จำนวน 4 แผ่น ตั้งในห้องที่ไม่มีแสงจากภายนอกมารบกวนการถ่ายภาพมากเกินไป เตรียมโคมไฟและขาตั้งกล้องที่สามารถปรับความสูงและจับยึดกับโทรศัพท์มือถือได้ดี ใช้โทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพ ชิ้นงานตั้งค่าที่อัตราส่วนภาพ 4:3 ขนาดของไฟล์ JPEG ความละเอียดภาพ 4032 x 3024 พิกเซล (12.2 MP) เนื่องจากเป็นขนาดภาพที่เหมาะสมกับโปรแกรม Meshroom 2021.1.0 ติดตั้งกะโหลกของสุนัขบนดินน้ำมันที่ปั้นเป็นฐาน วางฐานดินน้ำมันลงบนแผ่นยางรองตัดกระดาษเพื่อเป็นฐานหมุนได้และมีเส้นสีขาวสำหรับระบุตำแหน่งอ้างอิงของภาพ นำแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมาพับให้เป็น 3 ส่วน และวางอีก 1 แผ่นเป็นพื้นของฉาก ติดตั้งโทรศัพท์มือถือบนขาตั้งกล้องและปรับระดับความสูงของขาตั้งกล้อง แบ่งระดับความสูงของกล้องถ่ายภาพออกเป็น 2 ระดับ โดยระดับที่ 1 กำหนดให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน และระดับที่ 2 สูงจากชิ้นงาน ทำมุมประมาณ 30 องศา ปรับระยะห่างชิ้นงานกับกล้องถ่ายภาพประมาณ 30 - 40 เซนติเมตร ขนาดของไฟที่ใช้ประมาณ 2X (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การจัดสถานที่ถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ

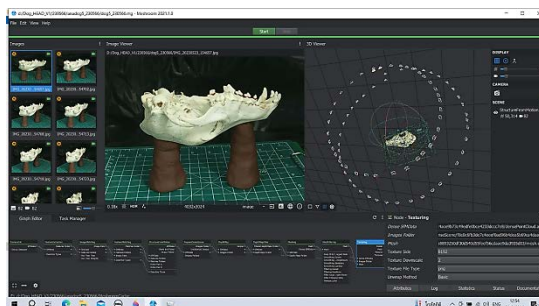
ตรวจสอบแสงที่ได้จากกล้องถ่ายภาพและทดลองการถ่ายภาพ เริ่มถ่ายภาพจากด้านที่มีชิ้นงานยาวที่สุดหรือมองด้านข้างก่อน เมื่อกดบันทึกภาพแล้วให้หมุนชิ้นงานทิศทางใดก็ได้ทิศทางเดียวทำมุมในแนวระนาบทุก 10 องศา กดบันทึกภาพในการหมุนในทุก 10 องศาต่อ 1 ครั้ง (ใช้มือหมุนแผ่นยางรองชิ้นงานที่มีเส้นวัดระยะห่างกันครั้งละประมาณ

2-3 เซนติเมตร) จนกว่าจะบันทึกภาพได้รอบชิ้นงาน ได้ภาพประมาณ 36 ภาพ จากนั้นปรับระดับความสูงของขาตั้งกล้องในระดับที่ 2 สูงจากชิ้นงานทำมุมในแนวตั้งประมาณ 30 องศา เริ่มถ่ายภาพในทุก 10 องศาต่อ 1 ครั้ง จะได้ภาพอีกประมาณ 36 ภาพ รวมทั้งหมดไม่น้อยกว่า 72 ภาพ เก็บภาพในโฟลเดอร์ชิ้นงานละ 1 โฟลเดอร์

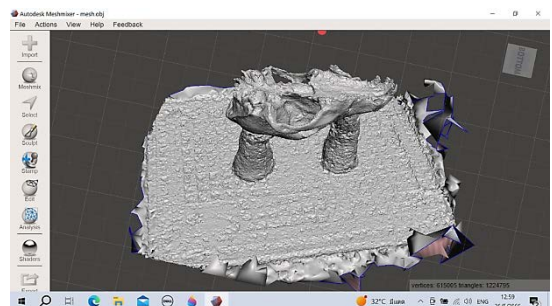
2.3 การใช้งานโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0

การใช้งานโปรแกรมนี้เพื่อแปลงภาพที่สำรวจไว้นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยเปิดโปรแกรม Meshroom.exe มีหน้าต่างที่ควรทราบ 4 ส่วนคือ หน้าต่าง Images, Images View, 3D Viewer และ Graph Editor และ Task Manager จากนั้นเปิด File Explorer เลือกโฟลเดอร์เก็บไฟล์ภาพที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ คลิกเมาส์ค้างที่โฟลเดอร์ ลากและวางในหน้าต่าง Images โปรแกรมจะดึงไฟล์ภาพทั้งหมด แล้วปรากฏภาพทั้งหมดที่หน้าต่าง Images และที่หน้าต่าง Images Viewer

เริ่มต้นทำการวิเคราะห์โดยคลิกที่ปุ่ม Start สีเขียว จะปรากฏหน้าต่างเมนูขึ้นมาใหม่ กดปุ่ม Save จะปรากฏหน้าต่างให้บันทึกไฟล์ ควรสร้างโฟลเดอร์ใหม่และตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการลงในโฟลเดอร์นั้น กดปุ่ม Save โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลชื่อไฟล์ที่กำหนดไว้พร้อมนามสกุล .mg กดปุ่ม Start อีกครั้งเพื่อเริ่มต้นกระบวนการวิเคราะห์ภาพ แล้วให้รอจนกว่าโปรแกรมจะดำเนินการเสร็จขั้นตอน ซึ่งอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2 ชั่วโมง ถึง 12 ชั่วโมง จึงจะดำเนินการเสร็จ จะปรากฏภาพกลุ่มจุด (พอยต์คลาวด์) แบบ 3 มิติที่หน้าต่าง 3D Viewer แสดงภาพเป็นกลุ่มจุดแบบมีสี สามารถปรับขนาดของกลุ่มจุดและการแสดงผลของมุมมองกล้องถ่ายภาพในทุกภาพที่ทำการวิเคราะห์ สามารถตรวจสอบความถูกต้องของมุมมองกล้องถ่ายภาพตรงกับข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติได้ (ดังภาพที่ 2) เมื่อเปิดโฟลเดอร์ที่บันทึกไฟล์นามสกุล .mg จะปรากฏโฟลเดอร์ชื่อ MeshroomCache คลิก 2 ครั้ง จะพบโฟลเดอร์ที่เก็บข้อมูลสำหรับไฟล์งานแบบจำลอง 3 มิติ ในงานวิจัยนี้ข้อมูลอยู่ในโฟลเดอร์ชื่อ Meshing ให้คลิกเข้าไปอีกครั้งเพื่อเลือกเปิดไฟล์ที่ชื่อว่า Mesh.OBJ เป็นไฟล์ผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปแบบของ Mesh Model หรือ 3D Mesh สามารถนำไฟล์นี้ไปปรับอัตราส่วนตัดต่อชิ้นงานและปรับแต่งพื้นผิวของแบบจำลอง 3 มิติได้ตามต้องการ (ดังภาพที่ 3)



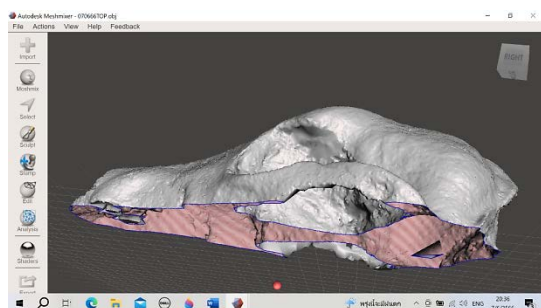
ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ภาพ 3 มิติ
และมุมมองกล้องถ่ายภาพ ในโปรแกรม
Meshroom Version 2021.1.0



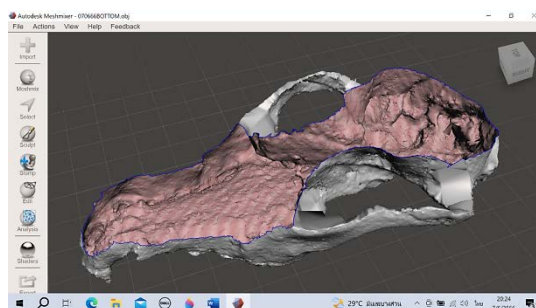
ภาพที่ 3 การใช้โปรแกรม Meshmixer
เปิดไฟล์ที่ชื่อว่า Mesh.OBJ

2.4 การใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ

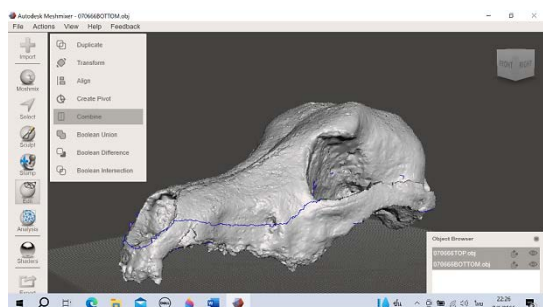
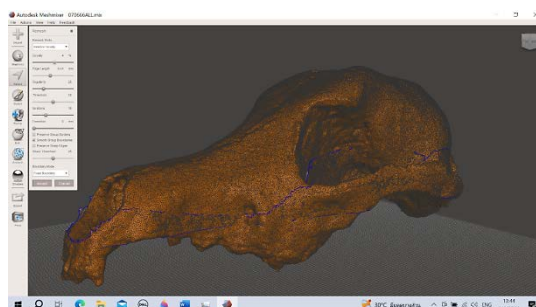
โครงสร้างของหัวกะโหลกสุนัข จำเป็นต้องแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านบนและด้านล่าง แล้วนำแบบจำลองที่ได้มาประกอบกันเพื่อให้ส่วนประกอบของแบบจำลอง 3 มิติ ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยนำแบบจำลองมาปรับตำแหน่งชิ้นงานให้ถูกต้อง ตัดชิ้นงานในส่วนที่ไม่ได้ใช้งานออกให้เหลือส่วนที่ใช้งานจริง ดำเนินการปรับพื้นผิว นำชิ้นงานทั้งส่วนบนและส่วนล่างมาแก้ไขโดยการตัดส่วนของพื้นที่ทับซ้อนกันด้วยเครื่องมือของโปรแกรม (ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5) แล้วนำชิ้นงานทั้งส่วนบนและส่วนล่างมาประกอบกัน รวมไฟล์ทั้งสองเป็นชิ้นงานเดียวกัน ปรับขนาดของพื้นผิวตาข่ายให้เล็กลงและปรับพื้นผิวของชิ้นงานให้สวยงาม (ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7)



ภาพที่ 4 ตัดพื้นผิวตาข่ายด้านบน



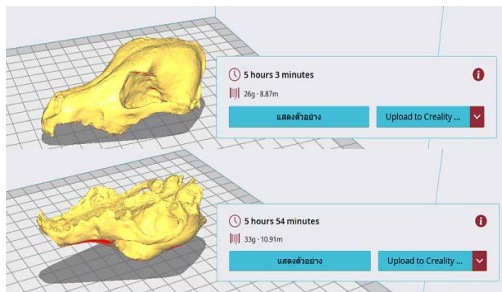
ภาพที่ 5 ตัดพื้นผิวตาข่ายด้านล่าง

ภาพที่ 6 รวมไฟล์ทั้งสองเป็นชิ้นงานเดียวกัน
ด้วยเครื่องมือ Edit > Combineภาพที่ 7 ปรับพื้นผิวตาข่ายให้มีขนาดเล็ก
เหมาะสมทั้งชิ้นงาน

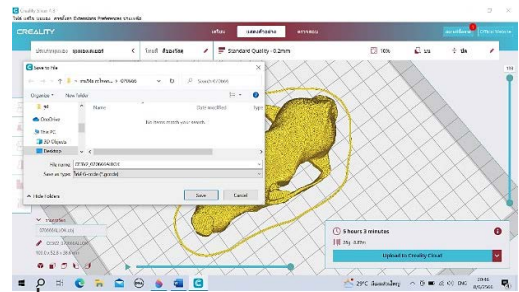
2.5 การพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เมื่อได้ไฟล์แบบจำลอง 3 มิติ หัวกะโหลกสุนัขที่สมบูรณ์แล้ว นำไฟล์นามสกุล .OBJ มาดำเนินการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ยี่ห้อ Creality รุ่น Ender 3 V2 เป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้งานง่าย ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Creality Slicer V.4.8 ที่สามารถเปิดไฟล์นามสกุล .OBJ ได้ การพิมพ์ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ สามารถแปลงไฟล์เป็นไฟล์นามสกุล .Gcode บันทึกข้อมูลลงใน Memory Card แล้วนำไปใช้งานได้ เมื่อเปิดโปรแกรม Creality Slicer V.4.8 เปิดไฟล์นามสกุล .OBJ ที่ต้องการพิมพ์ ปรากฏภาพชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ในกรอบการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ สามารถหมุนชิ้นงานปรับตำแหน่งการวางบนฐานพิมพ์และปรับขนาดได้ตามต้องการ ตั้งค่าคุณสมบัติของเครื่องพิมพ์ตามการกำหนดค่ามาจากโรงงาน โดยใช้พลาสติกชนิด PLA-F (คือการผสมผสานระหว่าง PLA และ ABS เพื่อให้ได้คุณสมบัติของพลาสติกที่ยืดหยุ่นของสองชนิดนี้มารวมกันในเส้นเดียว นิยมใช้ในอุตสาหกรรม) ความสูงของเลเยอร์ที่มาตรฐาน 0.2 มิลลิเมตร, อุณหภูมิที่หัวพิมพ์ 210 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิที่ฐานพิมพ์ 60 องศาเซลเซียส, เปิดระบบทำความเย็น, เปิดระบบตัวรองรับ และเลือกส่วนอื่นตามค่าเริ่มต้นของโปรแกรม สำหรับโครงสร้างความหนาแน่นของเส้นพลาสติกภายในชิ้นงานเลือกที่ 80 % ระยะห่างของเส้นที่ 0.5 มิลลิเมตร และความหนาแน่นของเส้นพลาสติกในส่วนของชั้นรองรับเลือกที่ 20 % ระยะห่างของเส้นที่ 0.8 มิลลิเมตร โดยงานพิมพ์ตรวจสอบที่ขนาด 100 มิลลิเมตรและชิ้นงานจริงที่ขนาด 160 มิลลิเมตร (เนื่องจากการพิมพ์ทดสอบที่ความยาว 100 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการพิมพ์น้อยกว่าขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร) ดำเนินการวิเคราะห์รูปแบบการพิมพ์ (ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9) บันทึกไฟล์ในรูปแบบการส่งไฟล์ออกที่เมนู ไฟล์ > ส่งออก ชื่อไฟล์จะถูกตั้งไว้แบบอัตโนมัติ ให้เลือกนามสกุลไฟล์ .Gcode บันทึกไฟล์ลงใน Memory Card จากคอมพิวเตอร์ แล้วย้าย Memory Card ไปเสียบที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทำความสะอาดฐานพิมพ์โดยใช้แอลกอฮอล์ ขูดกระดาษชำระ เช็ดบริเวณฐานพิมพ์กระจกให้สะอาด จากนั้นใช้น้ำยาจัดแต่งทรงผม พ่นลงไปบนฐานพิมพ์ในปริมาณที่สัมผัสแล้วมีความเหนียว เพื่อให้เส้นพลาสติกสามารถจับยึดกับฐานพิมพ์ได้ดี เปิดเครื่องพิมพ์ เลือกไฟล์ที่ต้องการพิมพ์ และสั่งให้เริ่มการพิมพ์แบบจำลอง 3 มิติ ให้พิจารณาเส้นพลาสติกในขณะพิมพ์ต้องมีการจัดเรียงกันอย่างเรียบร้อย

ไม่หลุดออกจากฐานพิมพ์ ตรวจสอบการพิมพ์ประมาณ 10 นาที ถ้าการพิมพ์ดำเนินไปได้เป็นปกติ ก็สามารถปล่อยให้เครื่องพิมพ์ทำงานจนจบกระบวนการ (ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11)



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์เวลาในการพิมพ์
จากชิ้นงาน



ภาพที่ 9 บันทึกไฟล์แบบส่งไฟล์ออก
ไฟล์นามสกุล .Gcode



ภาพที่ 10 การพิมพ์เมื่อพิมพ์ชิ้นงานเสร็จแล้ว



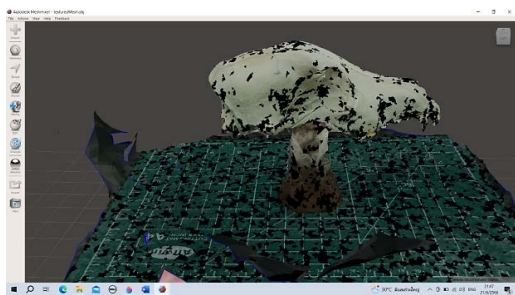
ภาพที่ 11 การถอดชิ้นงานออกจากฐานพิมพ์
ได้ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ

3. ผลการศึกษา

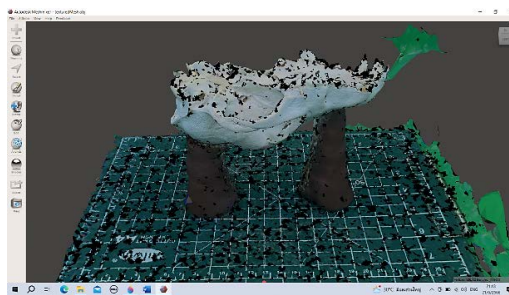
ในขั้นตอนการสร้างงานต้นแบบ ผู้วิจัยกำหนดเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ หัวกะโหลกเต็ม 1 ชิ้นงาน, ขากรรไกรล่าง 1 ชิ้นงาน, หัวกะโหลกผ่าซีกข้างขวา 1 ชิ้นงาน และหัวกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย 1 ชิ้นงาน สร้างจากพลาสติก ชนิด PLA จำนวน 2 สี คือสีเนื้อและสีขาว ขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร การสร้างชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Meshroom 2021 ได้ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง 3 มิติ ในรูปแบบของไฟล์ตาข่ายสามเหลี่ยมของวัตถุเมชโมเดล (Mesh Model) และไฟล์ผิวสัมผัสของตาข่าย (Texture Mesh) ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง จากนั้นใช้โปรแกรม Meshmixer ในการตัดต่อและปรับแต่งภาพแบบจำลอง 3 มิติ แล้วใช้โปรแกรม Creality Slicer V.4.8 ในการปรับตำแหน่งการวางบนฐานพิมพ์และการปรับขนาดความยาว 160 มิลลิเมตร ดำเนินการพิมพ์แล้วได้ชิ้นงานตามเป้าหมายดังนี้

3.1 ผลการสร้างชิ้นงานหัวกะโหลกเต็ม 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 12, 13, 14 และ 15)

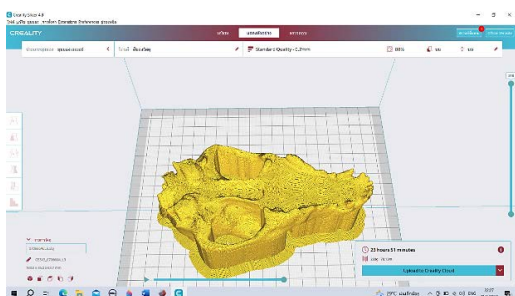
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 23 ชั่วโมง 51 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 78.13 เมตร น้ำหนักรวม 233 กรัม



ภาพที่ 12 ผลการวิเคราะห์หัวกะโหลก
เต็มด้านบน



ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์หัวกะโหลก
เต็มด้านล่าง



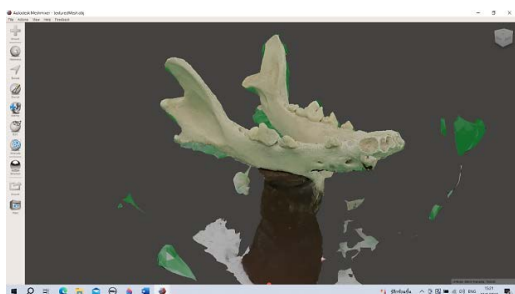
ภาพที่ 14 เส้นทางการพิมพ์หัวกะโหลกเต็ม



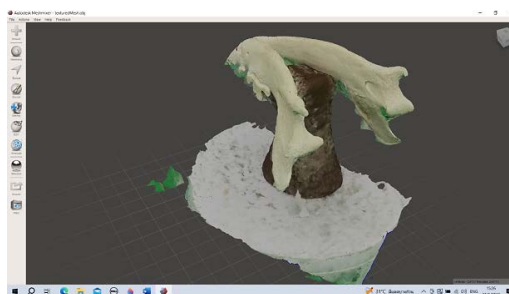
ภาพที่ 15 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาว
เปรียบเทียบกับของจริง

3.2 ผลการสร้างชิ้นงานขากรรไกรล่าง 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 16, 17, 18 และ 19)

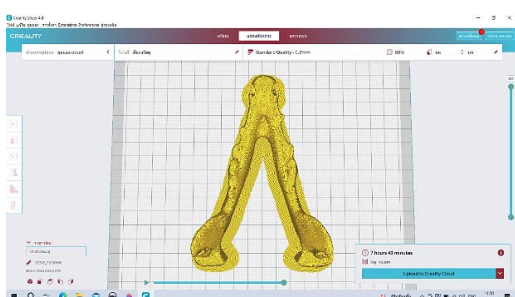
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 43 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 18.3 เมตร น้ำหนักรวม 55 กรัม



ภาพที่ 16 ผลการวิเคราะห์ขากรรไกรล่าง
ทางด้านบน



ภาพที่ 17 ผลการวิเคราะห์ขากรรไกรล่าง
ทางด้านล่าง



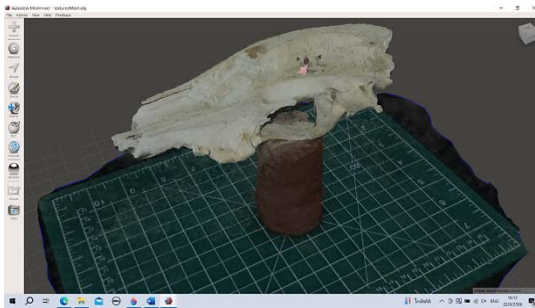
ภาพที่ 18 เส้นทางการพิมพ์ขากรรไกรล่าง



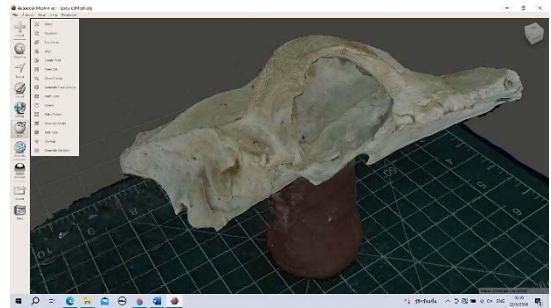
ภาพที่ 19 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาว
เปรียบเทียบกับของจริง

3.3 ผลการสร้างชิ้นงานห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวา 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 20, 21, 22 และ 23)

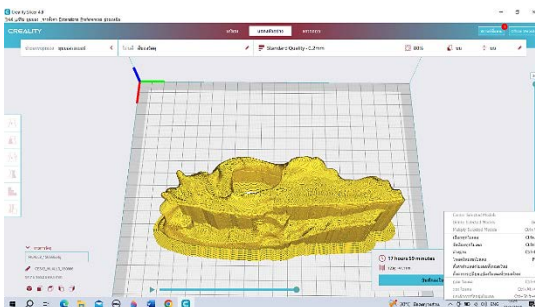
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 17 ชั่วโมง 59 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 41.11 เมตร น้ำหนักรวม 123 กรัม



ภาพที่ 20 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวาด้านใน



ภาพที่ 21 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวาด้านนอก



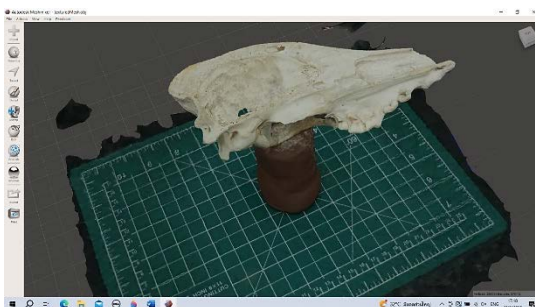
ภาพที่ 22 เส้นทางการพิมพ์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างขวา



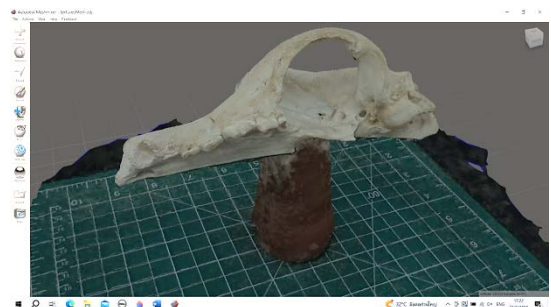
ภาพที่ 23 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาวเปรียบเทียบกับของจริง

3.4 ผลการสร้างชิ้นงานห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย 1 ชิ้นงาน (ดังภาพที่ 24, 25, 26 และ 27)

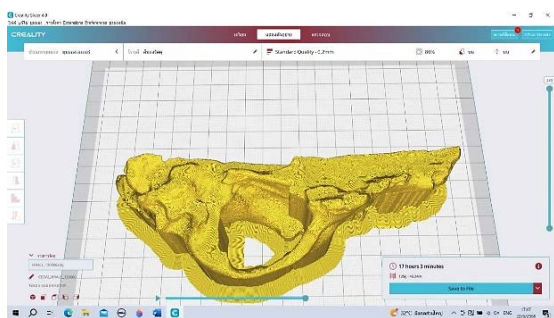
ผลการพิมพ์ใช้เวลา 17 ชั่วโมง 3 นาที ความยาวของเส้นพลาสติก 40.24 เมตร น้ำหนักรวม 120 กรัม



ภาพที่ 24 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้ายด้านใน



ภาพที่ 25 ผลการวิเคราะห์ห้วกะโหลกผ่าซีกข้างซ้ายด้านนอก



ภาพที่ 26 เส้นทางการพิมพ์หัวกะโหลกผ่าซีกข้างซ้าย



ภาพที่ 27 ชิ้นงานสีเนื้อและสีขาวเปรียบเทียบกับของจริง

อภิปรายผล

1. การบันทึกภาพจากชิ้นงานจริง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Meshroom 2021 ควรมีการเก็บบันทึกภาพจากชิ้นงานไม่น้อยกว่า 40 ภาพ แต่ไม่ควรเกิน 100 ภาพ ในมุมมองต่าง ๆ โดยเน้นมุมมองที่ต้องการความละเอียดสูงรอบชิ้นงาน ซึ่งรวมถึงมุมมองของกล้องในแนวระนาบ และมุมมองของกล้องในมุมสูง เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณจุดของภาพและแปลงพิกัดออกมาเป็นขนาดของชิ้นงานได้ถูกต้องที่สุด ดังนั้น การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Meshroom ของชิ้นงาน ได้แก่ กะโหลกสุนัข, ขากรรไกรล่าง, กะโหลกสุนัขผ่าซีกขวา, กะโหลกสุนัขผ่าซีกซ้าย จะใช้เวลาวิเคราะห์แตกต่างกันตามลักษณะรูปร่างและพื้นผิวสัมผัสของชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลา 2 - 12 ชั่วโมง

2. แสงที่ใช้ในการบันทึกภาพไม่ควรสว่างมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้ขาดรายละเอียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน จึงควรปรับตั้งค่าความไวแสง (ค่า ISO) อยู่ในช่วง 100 - 200 จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีคุณภาพสูงต่อการแสดงผลแบบ Textured Mesh

3. การตัดต่อและปรับแต่งภาพแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Meshmixer ในขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน ควรปรับขนาดของชิ้นงานให้เท่ากันก่อนการประกอบชิ้นงานด้านบนและด้านล่าง ซึ่งจะสังเกตเห็นผิวของชิ้นงานเกิดความทับซ้อนกัน ควรให้พื้นผิวของชิ้นงานที่สมบูรณ์อยู่ที่ผิวด้านนอกเสมอ จะทำให้ชิ้นงานมีรายละเอียดครบถ้วน

4. การประกอบชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Meshmixer ควรรวมชิ้นงานให้เป็นไฟล์ชิ้นงานเดียวกัน และตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้เมนู Analysis > Inspector ทำการแก้ไขในรายละเอียดให้ครบถ้วนก่อนการสร้างเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน (Make Solid) ที่เมนู Edit > Make Solid

5. การปรับแต่งชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Meshmixer สามารถปรับแต่งชิ้นงานได้แบบเบื้องต้นตามความสามารถของโปรแกรม แต่ถ้าต้องการปรับแต่งชิ้นงานที่มีความเหมือนจริงแบบครบถ้วน มีความจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้และมีค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธิ์ของโปรแกรม

6. การพิมพ์ชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง จะทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความละเอียดเรียบเนียนมากขึ้น น้ำหนักมากขึ้น และเพิ่มระยะเวลาในการพิมพ์ชิ้นงานมากขึ้น

7. การพิมพ์ชิ้นงานในส่วนของพื้นผิวที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นพลาสติกที่ซ้อนทับกันเป็นชั้นไปจนถึงด้านบนสุด

8. รายละเอียดของชิ้นงานที่ไม่สามารถทำได้ เช่น รอยร้าวของหัวกะโหลก, โครงสร้างภายในโพรงจมูก, องค์ประกอบภายในแอ่งและรูต่างๆ ของกะโหลกศีรษะ เนื่องจากวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เป็นการสร้างภาพ 3 มิติจากการมองภาพวัตถุจากภายนอกเท่านั้น

9. แบบจำลอง 3 มิติ ในด้านของมิติความ กว้าง x ยาว x สูง ชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดเทียบเท่ากันเมื่อเทียบกับตัวอย่างจริง

10. กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก ที่พัฒนาเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ความเหมาะสมและเสมือนจริง ประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นโครงสร้างภายใน และช่องว่างบนพื้นผิวภายนอก

11. ชิ้นงานที่ทำจากวัสดุ PLA นี้มีความคงทน แข็งแรง และใช้ได้นาน ซึ่งจะมีมีความคงทน และแข็งแรงมากกว่านี้ ถ้าใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3มิติ และเครื่องพิมพ์ 3มิติ ที่มีมาตรฐานสูงกว่า

4. สรุป

การศึกษาวิจัยเรื่อง กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก จะใช้ตัวอย่างจริง 4 ตัวอย่าง ขึ้นรูปเป็นแบบจำลองได้ 4 ตัวอย่าง (8 ชิ้นงาน) มีรูปร่างลักษณะเสมือนจริง ซึ่งเป็นผลลัพธ์วิจัยเชิงปริมาณ สามารถใช้ประโยชน์เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย การเก็บรักษา และทดแทนการใช้ตัวอย่างจริงจากสัตว์ได้ในอนาคต โดยใช้กระบวนการสร้างภาพ 3 มิติ มี 4 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการถ่ายภาพเก็บข้อมูลชิ้นงานต้นแบบ, การใช้งานโปรแกรม Meshroom Version 2021.1.0, การใช้โปรแกรม Meshmixer ในการปรับแต่งแบบจำลอง 3 มิติ และการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งแบบจำลอง 3 มิติ ในด้านของมิติความ กว้าง x ยาว x สูง ชิ้นงานทุกชิ้นมีขนาดเทียบเท่ากันเมื่อเทียบกับตัวอย่างจริง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์ให้มีความหลากหลาย โดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติเข้ามาช่วยในการสร้างสื่อการเรียนการสอน ซึ่งผู้วิจัยพบว่า มีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ จากการใช้โปรแกรม เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และการพิมพ์ชิ้นงานแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ดังที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในวิจารณ์ผล และการวิจัยลำดับต่อไป ถ้าต้องการปรับแต่งชิ้นงานที่มีความเสมือนจริงแบบครบถ้วน จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธิ์ของโปรแกรมเพื่อใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยให้ได้ชิ้นงานที่มีพื้นผิวเรียบเนียน สวยงาม และมีลักษณะที่เสมือนจริงมากกว่าการสร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วยพลาสติกชนิด PLA ส่วนความคุ้มค่าของวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบราคา 7,000 - 8,000 บาทต่อชิ้นงาน, เวลาที่ใช้ในการสร้างโมเดล 3D กรณีเป็นกะโหลกเต็มใช้เวลา 1 วัน หากเป็นชิ้นส่วนจะใช้เวลาน้อยลง และความแข็งแรงของชิ้นงานสามารถใช้ทดแทนตัวอย่างจริงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะสัตวแพทยศาสตร์ที่ให้ทุนวิจัยสนับสนุนนักวิจัย จากกองทุนคณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปี 2565 ในการศึกษาเรื่อง กะโหลกสุนัขจำลองต้นแบบจากพลาสติก และใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนทดแทนกะโหลกสุนัขจริงได้ในอนาคต ซึ่งเป็นผลงานในด้านสื่อการเรียนการสอนทางกายวิภาคศาสตร์เชิงนวัตกรรม และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เล็งเห็นความสำคัญในการพิจารณาทุนวิจัย รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลและคำแนะนำพร้อมอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย จนงานวิจัยสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- Fanchian. N. (2020). **Key educational technology trends influencing 2020**. Retrieved from <https://www.trueplookpanya.com/education/content/79314>. (in Thai)
- Neotech. (2021). **What is 3D Scanner? How many types are there? (Updated 2021)**. Retrieved from <https://www.print3dd.com/what-is-3d-scanner/>. (in Thai)
- Office of Knowledge Management and Development (2021). **Necessary skills in the 21st century**. Retrieved from <https://www.okmd.or.th/okmd-opportunity/new-gen/262/>. (in Thai)
- Puangpaka, A. and Wongbunmak, S. (2017). Virtual technology in library work. **Pikul Journal**, 15(1): page numbers 1-18. Kamphaeng Phet: JP Print Ordinary Partnership. (in Thai)

- Suprasert, A., Liamsiricharoen, M., Kunchaenak, S. and Kobsanthia, K. (2015). **Innovative agriculture Collection of research innovations on the 72nd anniversary of Kasetsart University.** Rubber model, teaching aids. (Pages 129-130). Kasetsart University. (in Thai)
- Thiengchanya, C. (2020). **Development of a scanning object system for storing highly detailed 3D texture data for planar and non-plane surfaces.** Master of Science (Computer Science and Information Systems) Faculty of Applied Statistics, National Institute of Development Administration, [On-line]. Available: <https://repository.nida.ac.th/items/4e483005-b3ef-49d0-92ca-02afefc06f8e>. (in Thai)

(Received: 9/Aug/2023, Revised: 24/Dec/2023, Accepted: 25/Dec/2022)